编者按　近年来气候变化的加剧在全球引发了一系列经济、社会和环境问题，影响了人类社会的可持续发展。为此，《巴黎协定》签署之后各国纷纷制定碳中和实施路线图，以应对日益严峻的气候变化问题。作为世界上最大的发展中国家和碳排放国，中国根据自己的国情提出了 2030 年实现碳达峰和 2060 年实现碳中和的“双碳”目标。实现“双碳”目标的关键是确保能源行业的碳中和转型。为此，在《中国科学院院刊》编委、上海交通大学环境科学与工程学院院长耿涌教授指导推进下，本刊特组织“碳中和目标背景下的能源转型”专题，邀请业界的数位院士专家从能源发展战略、能源变革、数字化技术、循环经济、能源转型的经济社会效益评估等方面探讨如何助推我国能源行业碳中和转型的达成。相关研究成果可为我国能源行业实现碳中和转型提供有益的政策启示，以确保能源结构更加清洁化和可更新，以及能源效率不断提高，为我国在高质量发展的同时实现碳中和目标提供有力支撑。

碳中和目标下我国能源发展战略探讨

苏　健[1,2]　梁英波[2]　丁　麟[2]　张国生[2]　刘　合[1,2*]
1 中国石油大学（华东）　经济管理学院　青岛　266580
2 中国石油勘探开发研究院　北京　100083

摘要　2020 年国家主席习近平在第75届联合国大会一般性辩论上作出了力争2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的承诺。作为世界最大的能源消费国和碳排放国，实现碳中和目标对我国能源和经济可持续发展提出了更高要求。近年来，虽然我国能源消费增速放缓，碳排放逐渐进入平台期，但我国能源消费结构中化石能源占比仍高达80%以上。碳中和目标下，在借鉴发达国家调整能源消费结构与碳减排做法的基础上，如何加快我国能源转型，明确碳中和目标下能源转型的战略路径值得深入探讨。碳中和是我国经济社会发展的战略目标，也是推进我国能源革命的重要举措，更是实现文明跨越的重要抓手。在实现碳中和的道路上，我国需要在电力、工业、建筑、农业等领域不断努力，减少碳排放量，谋划最优的战略路径，努力实现碳减排和经济发展并行不悖。

关键词　碳达峰，碳中和，碳减排，能源消费结构，趋势预测，战略路径

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20210727001

2020 年 9 月 22 日，国家主席习近平在第 75 届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话，提出了我国二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，要把碳达峰、碳中和目标的实现纳入生态文明建设整体布局。碳中和

*通信作者
资助项目：国家自然科学基金基础科学中心项目（72088101）
修改稿收到日期：2021年9月3日

是为我国经济社会发展的战略目标，同时也是推进我国能源革命、实现文明跨越的重要举措[1]。

1 我国能源消费量与碳排放趋势

保障我国碳中和目标的顺利实现，能源转型是首要任务。我国作为全球最大的能源消费国和二氧化碳排放国，发展经济与保护环境的矛盾相对突出，短时间内实现碳中和目标，对我国能源结构的绿色低碳发展提出了新的挑战。这就需要针对我国国情，加快产业结构调整与能源结构转型，制定符合我国资源禀赋及国情的碳中和实施路径。

我国作为全球最大的能源消费国和二氧化碳排放国，单位国内生产总值（GDP）能耗与碳排放量远高于发达国家，但由于我国经济发展滞后等因素，历史人均累计碳排放量远低于发达国家。2020 年，我国能源消费总量为 49.8 亿吨标准煤，能源相关的二氧化碳排放量约 99 亿吨，占全球总排放量的 30.9%，比美国（13.9%）、印度（7.2%）和俄罗斯（4.5%）的总和还要多，居全球第一。同时，2020 年我国单位 GDP 能耗为 3.4 吨标准煤/万美元，单位 GDP 碳排放量为 6.7 吨二氧化碳/万美元，均远高于世界平均水平及美国、日本、德国、法国、英国等发达国家（图 1）。从历史人均累计碳排放量方面来看，我国历史人均累计的碳排放量约为 164 吨二氧化碳/人，低于世界平均水平 214 吨二氧化碳/人，远低于美国 1 232 吨二氧化碳/人、英国 925 吨二氧化碳/人、法国 521 吨二氧化碳/人①。

根据能源数据统计显示，1980 年以来，我国能源消费总量不断增加，1980—2001 年增速较为缓慢，2002—2013 年急速增长，但 2013—2020 年增速明显减缓，整个能源消费和碳排放进入平台期（图 2）[2]。从能源消费结构来看，我国能源消费仍以煤炭、石油、天然气等化石能源为主，特别是煤炭消费比重占一半以上。近年来，我国能源消费结构持续优化，近 10 年煤炭年消费量基本维持在 28 亿吨标煤左右；煤炭消费占比持续降低[3]，已由 2000 年的 68.5% 降至 2020 年的 56.8%；清洁能源（天然气+非化石能源）消费占比持续上升[4]，由 2000 年的 9.5% 增至 2020 年的 24.3%。2020 年我国能源消费总量 49.8 亿吨标煤，其中煤炭、石油、天然气、非化石能源占比分别为 56.8%、18.9%、8.6%、15.7%（图 3）。

工业是我国能源消费和碳排放大户。其中，电力、钢铁、水泥、铝冶炼、石化化工、煤化工 6 个行业和交通、建筑 2 个领域的碳排放合计超过 90%（图 4）。除美国的交通行业为碳排放占比最高部门外，全球碳排放量较高国家中，碳排放占比最高的均为电力部门。重视天然气和非化石能源的快速发展及替代对于优化我国能源结构、加速能源转型发挥着重要作用[5]；应重点针对我国二氧化碳主要排放量行业和领域，全面开展碳排放控制路径、措施和政策等[7]研究。

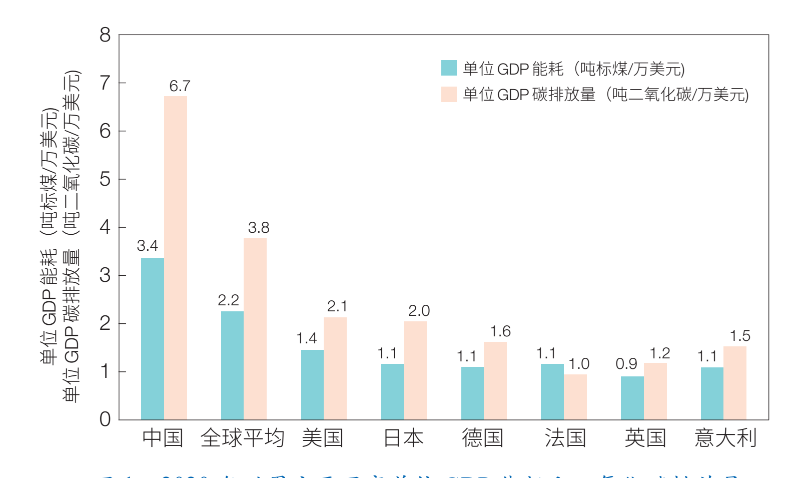


图 1　2020 年世界主要国家单位 GDP 能耗和二氧化碳排放量

Figure 1　Energy consumption and carbon dioxide emissions per unit of GDP of major countries in 2020

数据源自：国家统计局《2020 年国民经济和社会发展统计公报》

Data source: National Bureau of Statistics “Statistical Bulletin of Year 2020 on National Economic and Social Development”

① 据 BP 世界能源统计年鉴。

2 发达国家碳达峰、碳中和策略对我国的启示

（1）从碳达峰到碳中和时间短是我国当前面临的主要挑战。不同国家推进碳中和的进度有所不同，目前全球已有132个国家和地区提出实现碳中和时间②。从时间节点上看，大部分国家提出在2050年实现碳中和目标[6]；从时间跨度上看，世界各国从碳达峰到碳中和的时间平均需要50年以上。当前，我国仍处于工

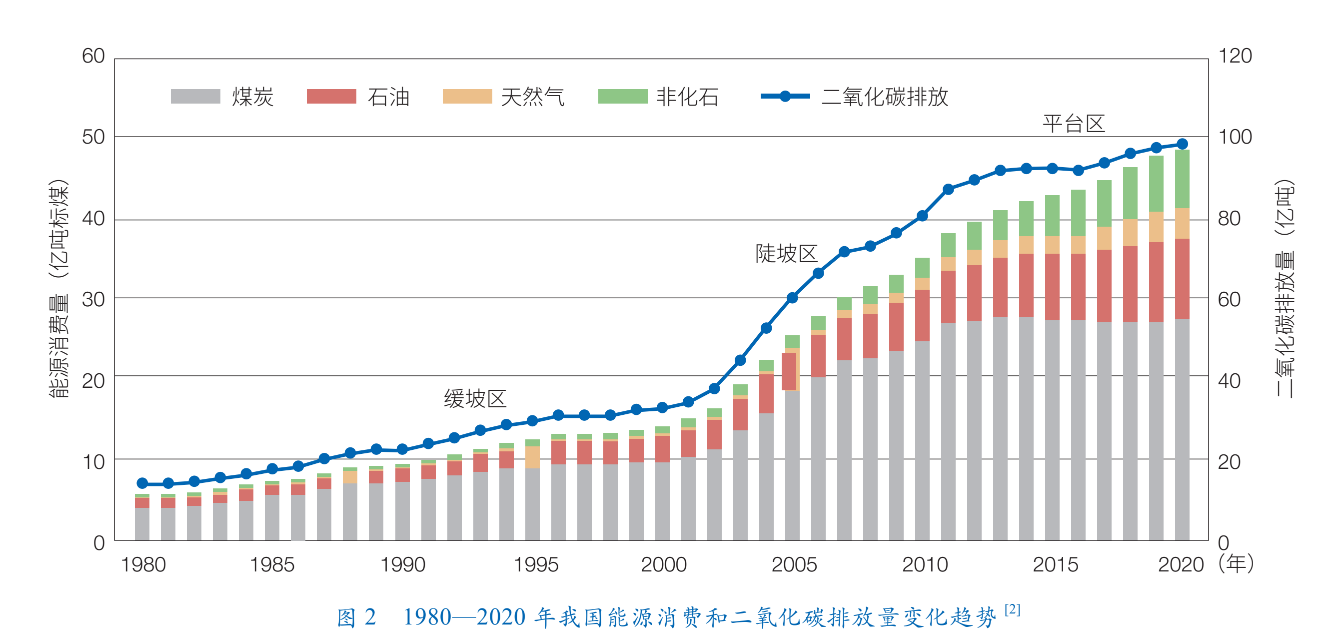


图2　1980—2020年我国能源消费和二氧化碳排放量变化趋势[2]

Figure 2　Trends of energy consumption and CARBON dioxide emissions in China from 1980 to 2020

数据源自：2021年BP能源统计和中国国家统计局《2020年国民经济和社会发展统计公报》

Data source: 2021 BP Energy Statistics and National Bureau of Statistics "Statistical Bulletin of Year 2020 on National Economic and Social Development"

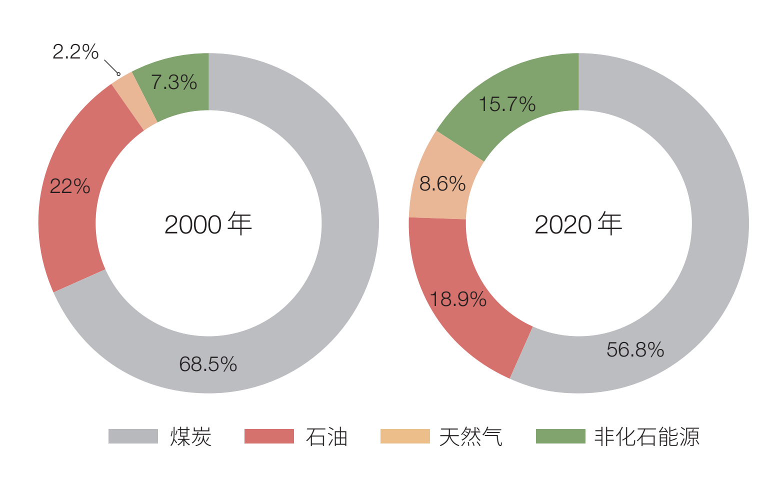


图3　我国2000年和2020年能源消费种类占比对比

Figure 3　Comparison chart of the proportion of Energy consumption types in China of 2000 and 2020

数据源自：国家统计局《2020年国民经济和社会发展统计公报》

Data source: National Bureau of Statistics "Statistical Bulletin of Year 2020 on National Economic and Social Development"

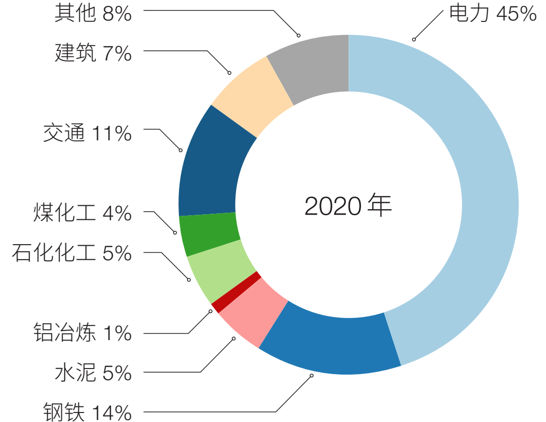


图4　2020年我国工业领域各行业能源消费二氧化碳直接排放占比

Figure 4　Proportion of direct carbon dioxide emissions from energy consumption by industry in China in 2020

数据源自《中国能源统计年鉴2020》

Data source: "China Energy Statistical Yearbook 2020"

② 其中，2个国家已经实现碳中和，120个国家和地区在2050年实现碳中和。已分别有6个国家在法律层面、6个国家在立法法案层面、20个国家在国家政策文件层面明确实现碳中和。

业化、城镇化进程中，一次能源消费仍处于增长趋势中，因此碳排放也仍处于增长阶段。我国宣布从碳达峰到碳中和的间隔时间为 30 年，而欧盟承诺的碳达峰到碳中和的时间为 60—70 年，间隔时间甚至是我国的 2 倍还要多。这预示着我国至少要付出更加艰苦的努力，以更快的速度和更高的效率才能实现碳中和目标。同时，我国不能照搬复制国外碳中和的模式，应当针对我国国情，在充分调研分析的基础上，提出制定符合我国资源禀赋及国情的碳中和实施路线。

（2）从日本、美国的经验来看，控制能源消费总量、优化消费结构是实现碳减排的最主要途径[8]。欧洲多数国家、美国和日本已完成工业化阶段，高能耗产业已退出或转移，经济增长与能源需求基本脱钩，多数国家已实现碳达峰。日本通过节能和能效提升，实现能源消费总量、碳排放下降。早在 1996 年日本能源消费量就已经达峰，后期由于煤炭消费的增长，碳排放量仍处于增长期。2008—2020 年，日本煤炭消费保持平稳，石油消费大幅下降，可再生能源增加，二氧化碳排放量快速下降。美国则通过大力发展天然气、可再生能源，实现消费量基本稳定、碳排放大幅下降[9]。2005 年，美国能源消费达峰后长期保持总量稳定，天然气和可再生能源大量替代煤炭[10]。2005—2020 年，天然气消费占比由 23% 增至 34%，可再生消费占比由 1% 增至 7%。经测算，天然气和可再生能源替代煤炭减排约 7.5 亿吨二氧化碳，约占美国 2005 年以来碳减排总量的 82%。

（3）世界各国资源禀赋与技术优势的不同，决定了能源清洁低碳转型路径存在差异。美国的煤炭、石油、天然气资源丰富，虽然能源消费量大但能源产量较高，可基本实现自给，从而决定了其清洁低碳转型路径为大力发展天然气和可再生能源。欧盟煤炭、石油、天然气资源匮乏，能源消费量大但能源产量低，化石能源高度依赖进口，从而决定了其清洁低碳转型路径为大力发展非化石能源。例如：英国采取“弃煤，增气，大力发展可再生能源”的减碳路径，1965—2020 年煤炭消费占比降低 56%，天然气消费占比增加 14%，可再生能源占比增加 13%；法国采取“保证核能基础性地位，大力发展可再生能源”的减碳路径，核能占比达到 37%，可再生能源占比增加 6%；德国采取“弃煤，弃核，大力发展可再生能源”的减碳路径，煤炭消费占比降低 45%，核能占比降低 6%，可再生能源占比增加 16%。中国和印度资源禀赋相似，富煤但油气资源相对不足，短期内实现能源转型任重道远，只能考虑适合本国国情的低碳转型路径。各国经验表明，推进煤炭高效清洁利用，加快清洁用能替代，大力发展可再生能源和天然气是我国实现碳中和目标的现实选择。

3 我国未来能源消费总量和峰值预测

（1）我国一次能源消费总量预测。通过对各研究机构的模拟研判分析③，我国一次能源消费量预计在 2030 年前后达峰④，峰值约 52.9 亿—61.4 亿吨标煤，年均值 55.7 亿吨标煤，碳达峰后将快速进入下降期[11]。综合研判，预计我国一次能源消费总量 2030 年左右达峰，峰值约 56 亿吨标煤，2060 年有望降至 45 亿吨标煤左右（图 5）。

（2）我国碳达峰时间及碳排放峰值预测。通过对 8 种可实现碳中和情景碳达峰时间与碳排放预测对比（图 6），我国碳排放峰值总量均值约为 103 亿吨，碳达峰后即进入下降期，年均减排需达 2.5 亿

③ 通过调研国内外 14 家机构对于我国一次能源消费总量的 33 种预测结果，考虑多种因素进行综合研判共筛选出 21 种合理情景，其中 8 种情景（中国石油经济技术研究院、AFRY 咨询、挪威船级社、BP 快速转型情景、BP 净零情景、清华 1.5℃情景、上海交通大学基准情景、上海交通大学强化低碳情景）可实现碳中和目标，本数据为对 8 种可实现碳中和情景进行的分析。

④ 国际能源署 . 世界能源展望（2020）. https://www.iea.org/.

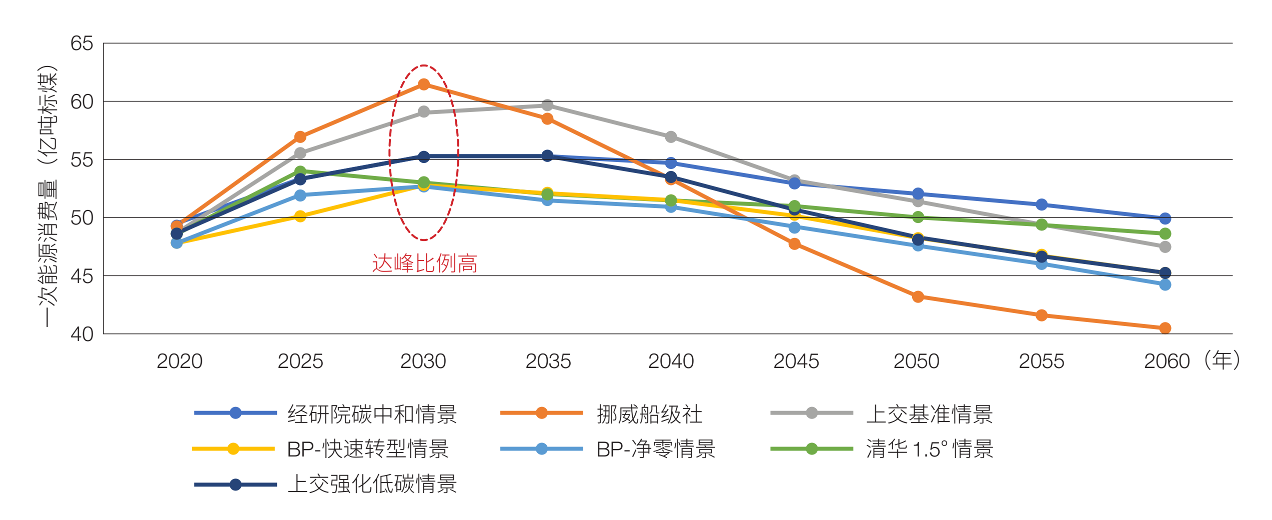


图 5　7 种对我国碳中和情景一次能源消费量预测对比

Figure 5　Comparison of primary energy consumption forecast for carbon neutral scenario in China

数据来自：中国石油经济技术研究院（经研院）《2050 世界与中国能源展望》（2020 版）；贝励工程设计咨询有限公司（AFRY）评论《中国宣布力争 2060 年前实现碳中和这一承诺的影响》；挪威船级社《2020 年能源转型前景展望大中华区区域预测》；BP 公司 Energy Outlook 2020；清华大学（清华）气候变化与可持续发展研究院《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》；上海交通大学（上交）中国工程院重大咨询项目《“能源战略 2035”专题报告》

Data source: CNPC Economics & Technology Research Institute, 2050 World and China Energy Outlook, 2020 edition; AFRY (Bayley Engineering Design Consulting Co. Ltd.) comments: The impact of China’s announcement to achieve carbon neutrality by 2060; Det Norske Veritas, 2020 Energy Transition Outlook, Greater China Regional Forecast; BP, Energy Outlook 2020; Institute of Climate Change and Sustainable Development, Tsinghua University, Comprehensive Report on China’s Long-term Low-carbon Develop “Energy Strategy 2035” Special Report

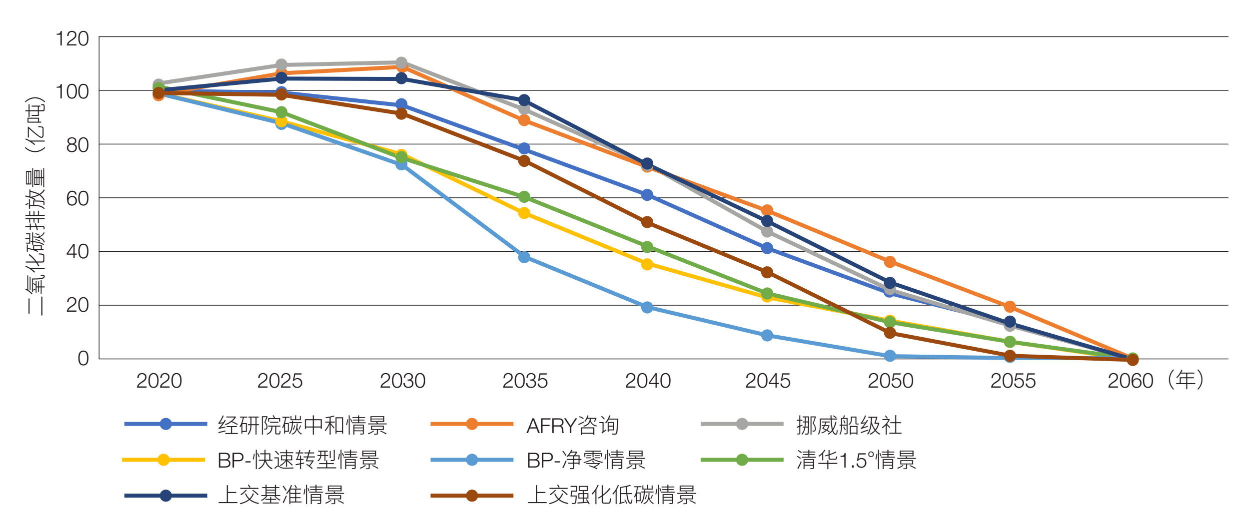


图 6　8 种对我国碳中和情景碳排放预测对比

Figure 6　Comparison of carbon emission predictions for 8 carbon neutral scenarios in China

通过调研国内外 14 家机构对于我国一次能源消费总量的 33 种预测结果，考虑多种因素进行综合研判共筛选出 21 种合理情景，其中 8 种情景：中国石油经济技术研究院（经研院）、贝励工程设计咨询有限公司（AFRY）咨询、挪威船级社、BP 快速转型情景、BP 净零情景、清华大学（清华）1.5℃情景、上海交通大学（上交）基准情景、上海交通大学（上交）强化低碳情景可实现碳中和目标，本数据为对 8 种可实现碳中和情景进行的分析

By investigating 33 kinds of prediction results of China’s total primary energy consumption by 14 institutions worldwide, a total of 21 reasonable scenarios were screened out by comprehensive research and judgment considering various factors, Among them, 8 scenarios (CNPC Economics & Technology Research Institute, AFRY (Bayley Engineering Design Consulting Co. Ltd.) Consulting, Det Norske Veritas, BP rapid transformation scenario, BP net zero scenario, Tsinghua University 1.5℃ scenario, Shanghai Jiao Tong University benchmark scenario, Shanghai Jiao Tong University enhanced low-carbon scenario) can achieve carbon neutrality, and this data is the analysis of 8 scenarios that can achieve carbon neutrality

吨。综合研判，我国碳排放预计在2025—2030年达峰，有望在2055—2060年实现碳中和⑤。

（3）碳中和目标下我国能源消费结构及碳排放。通过对8种可实现碳中和情景进行综合预测，统筹考虑天然气资源丰富、同热值天然气碳排放量不到煤炭一半、天然气发电是灵活高效的调峰电源、天然气可支撑可再生能源发展等诸多优势，研究推荐情景为天然气大发展情景。推荐情景中，煤炭消费预计2025年前达峰，占比持续下降，2030年煤炭消费占比降至43%左右，2060年降至4.7%；石油消费预计2025—2030年达峰，峰值约7.3亿吨，2060年石油消费降至2亿吨左右，占比6.4%；天然气消费预计2035—2040年达峰，峰值约6 800亿立方米⑥，2060年天然气消费降至6 000亿立方米左右⑦，占比17.6%；非化石能源消费占比持续提升，预计2030年占比提升至25%以上⑧，2060年提升至71.3%。

4 促进碳中和目标实现的对策建议

碳中和是我国经济社会发展的战略目标，也是推进我国能源革命的重要举措，更是实现文明跨越的重要抓手。碳中和目标的实现，必将带来一场深刻的经济社会系统性变革，以及新技术、新产业、新交通、新建筑、新能源和新的发展方式，不断推动我国经济和社会发展进步，实现经济、能源、环境、气候的进步和可持续发展。在实现碳中和的道路上，我国需要在电力、工业、建筑、农业等领域不断努力，减少碳排放量，谋划最优的战略路径，努力实现减碳和经济发展并行不悖[12]。为此，提出7点对策建议。

（1）谋划好碳中和实施路径的顶层设计。碳中和关乎社会经济发展的各个方面。建议：尽早谋划我国碳中和实施路径，设定国家碳排放总量控制分阶段目标并明确地区、行业责任；与各省（自治区、直辖市）和关键中央企业签订碳达峰、碳减排目标责任书，明确目标任务，抓好过程管理和评估考核，积极做好国家层面的统筹协调[13]。英国、日本、墨西哥、欧盟、韩国、菲律宾、美国加利福尼亚州等国家和地区已经通过了应对气候变化法律。鉴于立法已经成为主要国家和地区应对气候变化的重要抓手，建议我国尽早启动碳达峰、碳中和相关立法工作。

（2）将示范区建设纳入国家碳中和长期战略。我国既要如期实现碳中和目标，也要实现碳减排和经济发展两不误，特别是煤炭、油气工业的稳定可持续发展对地区经济发展和社会稳定具有重要战略意义。西部地区是我国重要的石油化工基地，同时也是全国最大的煤炭资源转化产业基地。例如，新疆年排放二氧化碳达5.8亿吨，其中80%来自煤炭。碳中和约束下，清洁低碳发展是能源工业的唯一选择，也是迫切的需求。建议：西部地区作为西气东输、西电东送等重大基础设施的发源地，作为碳排放的重点，输出清洁能源的同时，应采取有关措施将碳汇指标返还西部。同时，新疆碳源和碳汇匹配条件较好，对于推动二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）技术发展实现碳减排具有独特优势。为此，建议将示范区建设纳入国家碳中和长期战略，引领碳中和技术和产业循环发展。基于新疆的战略地位、资源禀赋、环境承载力及域内产业技术优势，建议在新疆设立碳中和国家示范区，开展二氧化碳驱油提高采收率技术攻关与碳中和工程示范，探索能源与化工等高碳行业绿色低碳发展新路径，助力新疆经济社会高质量发展和国家碳中和目标实现。

（3）推进煤炭高效清洁化利用和高质量发展。大力推进煤炭高效清洁化利用可有效控制二氧化碳排放。我国约50%的煤炭消费用于发电，因此解决燃

⑤ 清华大学气候变化与可持续发展研究院.中国长期低碳发展战略与转型路径研究。
⑥ 清华大学能源环境经济研究所.2060年碳中和目标下的低碳能源转型情景分析，2020。
⑦ 中国石油经济技术研究院.2050年世界与中国能源展望（2020版）。

煤发电的清洁高效问题是煤炭高效清洁利用的重中之重。建议：利用煤炭与可再生能源良好的互补性，将燃煤发电与可再生能源发电优化组合，既可以规避可再生能源发电的不稳定性，又可以利用可再生能源的碳中和能力为燃煤发电提供碳减排途径。此外，煤炭地下气化也是清洁利用的重要途径，可从根本上改变中深层煤炭开采利用模式，减少煤炭在开采和应用中造成的环境负面影响[14]。

（4）油气企业应在保障国家能源安全的同时谋划新能源发展。油气领域碳中和，需要在国家能源安全特别是油气安全的背景下统筹考虑。建议：促进常规天然气增产，重点突破非常规天然气勘探开发，以及积极提升天然气在低碳转型和碳中和过程中的促进作用。同时，在保障我国能源安全的前提下，随着碳排放进入平台期和快速下降期及新能源减排技术的不断成熟，油气企业可加快步伐，加速推进新能源业务，积极培育新能源发展的能力[15]。可以通过二氧化碳转化与封存业务，为煤炭和电力企业排放的二氧化碳提供解决方案。此外，油气企业应重点关注低成本技术的研发，将低碳技术的创新性与经济性相结合，重点向降低成本倾斜，确保在新能源业务上稳健发展[16]。

（5）加大CCUS技术应用。加强二氧化碳驱油和碳埋存技术攻关，推动技术产业成熟。CCUS目前处于攻关试验与推广应用早期，基础研究和技术有待成熟。建议：① 在基础研究方面统筹油气资源开发利用与碳中和，重点开展中长期经济发展态势研究、未来能源需求及二氧化碳排放走势情景分析与路径模拟。② 加强对碳捕集、分离、运输、利用、封存、监测等环节的关键核心技术攻关。优化源汇配置、超前布局二氧化碳专用输送管道、全面评价二氧化碳驱油和埋存效果。③ 超前部署新一代低成本、低能耗、低水耗CCUS技术，与风光等可再生能源和数字技术深度融合，大幅提升全生命周期二氧化碳利用与封存比例。

（6）争取政府引导和财税金融等政策支持。CCUS技术规模应用与政策支持密不可分，特别是在规模推广应用早期，更加需要政府引导与政策支持。建议：① 通过政府强有力推动，建立“企-地-企”沟通机制，实现石油、化工、煤化工、煤电等产业融合发展，构建跨企业协调合作机制，协调企业利益分配，打破行业合作僵局，形成碳捕集-输送-埋存（利用）产业一体化发展模式。② 借鉴美国“45Q税收法案”⑨，探索建立适合我国国情的CCUS税收和财政支持政策，形成提高效益和吸引投融资的良性循环。③ 借助国家和地方碳交易平台，推动二氧化碳市场化交易，实现CCUS项目的规模化和商业化运作。

（7）推动企业开展苗圃和碳汇林基地建设等“负碳行动”。推动企业开展苗圃和碳汇林基地建设等“负碳行动”计划，为示范区业务发展提供碳减排空间。随着碳中和目标提出和碳交易市场推进，碳资产将越来越成为紧缺、稀缺资源。建议：① 全面普查示范区碳源，依托碳市场，推进资源有效配置。② 推进各能源企业苗圃和碳汇林基地建设，拓展生态防护林等植树造林工程建设主体，发起“绿色矿区、绿色作业区”建设，实现绿色发展和碳汇增加两不误。③ 推动企业购买定点乡村振兴地区碳汇指标，推动区域绿色发展。

5 结语

碳达峰、碳中和目标是党中央、国务院作出的重大战略决策，是以绿色低碳发展为核心的生态文明建设，是中国人民追求更美好生活的新期待，也是中国进入新发展阶段实现高质量发展、创新发展、可持续

⑧ 张希良. 2060年碳中和目标下的低碳能源转型情景分析. 北京，清华大学能源环境经济研究所, 2020.
⑨ 2021年1月15日，美国财政部和国税局发布碳捕获与封存（CCS）税收优惠政策，即“45Q条款最终法规”。

发展的内在需求。碳中和目标符合我国根本利益，各地方、各行业都应积极拥抱碳中和。作为世界最大的能源消费国和碳排放国，在实现碳中和的道路上，我们应在借鉴发达国家调整能源消费结构与碳减排做法的基础上，在电力、工业、建筑、农业等领域不断努力，加快能源转型，谋划碳中和目标下能源转型的最优战略路径，努力实现减碳和经济发展并行不悖。

参考文献

1 习近平. 继往开来，开启全球应对气候变化新征程——在气候雄心峰会上的讲话. 人民日报, 2020-12-13(01).

2 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴1978—2020. 北京: 中国统计出版社, 2021.

3 谢和平. 中国能源发展趋势与能源科技展望. 中国煤炭, 1998, 24(5): 7-14.

4 邹才能, 赵群, 张国生, 等. 能源革命：从化石能源到新能源. 天然气工业, 2016, 36(1): 1-10.

5 陈蕊, 朱博骐, 段天宇. 天然气发电在我国能源转型中的作用及发展建议. 天然气工业, 2020, 40(7): 120-128.

6 杨宇, 于宏源, 鲁刚, 等. 世界能源百年变局与国家能源安全. 自然资源学报, 2020, 35(11): 2803-2820.

7 尚凯元, 郑彬, 李晓骁. 实现碳中和，需要全球合作应对. 人民日报, 2021-02-03(17).

8 贾智彬, 孙德强, 张映红, 等. 美国能源战略发展史对中国能源战略发展的启示. 中外能源, 2016, 21(2): 1-7.

9 王能全. 碳达峰：美国的现状与启示. 科学大观园, 2021, (10): 36-39.

10 郝新东. 中美能源消费结构问题研究. 武汉: 武汉大学, 2013.

11 中国工程院项目组. 中国能源中长期（2030、2050）发展战略研究：综合卷. 北京: 科学出版社, 2011: 50-62.

12 戴家权, 王利宁, 向征艰. 关于中国长期能源战略制定的几点思考. 国际石油经济, 2019, 27(12): 10-14.

13 王利宁, 彭天铎, 向征艰, 等. 碳中和目标下中国能源转型路径分析. 国际石油经济, 2021, 29 (1): 2-8.

14 黄维和, 韩景宽, 王玉生, 等. 我国能源安全战略与对策探讨. 中国工程科学, 2021, 23(1): 112-117.

15 邹才能, 熊波, 薛华庆, 等. 新能源在碳中和中的地位与作用. 石油勘探与开发, 2021, 48(2): 411-420.

16 金雅宁, 倪正, 田喆, 等. 碳中和愿景目标对油气行业的挑战与机遇. 石油化工技术与经济, 2021, 37(1): 1-6.

Research on China's Energy Development Strategy under Carbon Neutrality

SU Jian[1,2]   LIANG Yingbo[2]   DING Lin[2]   ZHANG Guosheng[2]   LIU He[1,2*]

（1 School of Economics and Management, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

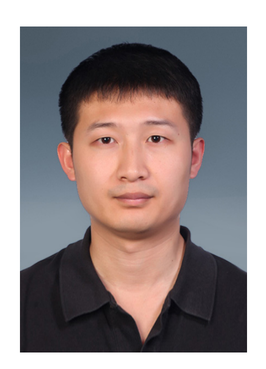
2 Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China）

Abstract China has pledged to reach peak carbon dioxide emission by 2030, and carbon neutrality by 2060 at the Seventy-Fifth Session of the United Nations General Assembly in 2020. As the largest energy consumer and emitter of greenhouse gases, carbon peak and carbon neutrality targets have posed a high requirement for China's sustainable development of energy and economy. In recent years, even though the growth rate of China's energy consumption has decreased, and carbon dioxide emissions gradually enter the plateau, fossil fuels still supply more than 80% of the energy consumption in China. Besides learning from the adjustment of energy con-

*Corresponding author

sumption structure in developed countries, it is worth discussing in-depth about the change of the strategic path of energy transition and how to advance energy transition under carbon peak and carbon neutrality targets, the strategic goals in China's economic and social developments. It is also an important action in China's energy revolution. Furthermore, it is an important step to achieve the development of civilization. China needs to keep working on how to reduce carbon emission, to find the optimal strategic path, and to reach the equilibrium between carbon dioxide emission reduction and economic development in the fields of electrical engineering, industry, civil engineering, and agriculture along the path towards carbon neutrality.

Keywords carbon peak, carbon neutrality, carbon emission reduction, energy consumption structure, trend prediction, strategic path



苏 健 中国石油大学（华东）博士研究生，中国石油勘探开发研究院工程师。主要从事能源战略等方面的研究工作。曾参与中国工程院、国家自然科学基金、科学技术部重点研发计划等项目。E-mail: sujian.riped@petrochina.com.cn

SU Jian Ph.D. candidate of China University of Petroleum, Engineer of Research Institute of Petroleum Exploration & Development. Engaged in energy strategy and other aspects of research work, he has participated in a number of national and provincial projects, such as Chinese Academy of Engineering, National Natural Science Foundation of China, National Key Research and Development Program of China. E-mail: sujian.riped@petrochina.com.cn



刘 合 中国工程院院士，中国石油勘探开发研究院教授。主要从事采油工程技术及装备研发、工程管理创新与实践等方面的工作。"863"计划首席科学家。获得国家科技进步奖特等奖 1 项、二等奖 3 项，国家技术发明奖二等奖 1 项；省部级科学技术奖一等奖 8 项。 E-mail: liuhe@petrochina.com.cn

LIU He Academician of Chinese Academy of Engineering, Professor of Research Institute of Petroleum Exploration & Development. He mainly engages in the research and development of oil production engineering technology and equipment, innovation and practice of engineering management. He is the Chief Scientist of 863 Project, has won one special award and 3 second prizes of National Science and Technology Progress Award, one second prize of State Technological Invention Award, and 8 first prize of Provincial Science and Technology Award. E-mail: liuhe@petrochina.com.cn

■责任编辑：张帆